

Joint Committee CEB-CIB-FIP-RILEM

Presidente del Comité Mixto:

H. Rüsch, Munich.

Presidente del Comité Editorial:

A. G. Meseguer, IETcc, Madrid

PRINCIPIOS RECOMENDADOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGON Y CRITERIOS PARA SU ACEPTACION O RECHAZO

NOTA EDITORIAL

El siguiente texto fue editado por el IETcc como monografía n.º 326, en abril de 1975, publicación que se encuentra agotada desde hace largo tiempo. Dado el interés y la actualidad del tema, se reproduce aquí en forma de CUADERNOS.

nota histórica

Si no recuerdo mal, fue el doctor **Thomas** de la Building Research Station (Gran Bretaña) quien sugirió en 1965 que debía crearse una Comisión para estudiar los problemas relativos al control de calidad del hormigón. Esta propuesta se discutió en junio de 1966 durante la sesión anual de la Comisión Coordinadora responsable de armonizar las actividades de los diversos Organismos Internacionales de Ingeniería Civil y, como consecuencia de ello, el señor **L'Hermite** invitó a diversos representantes del CEB, del CIB, de la FIP y de la RILEM a una reunión en París, en junio de 1966.

En dicha reunión se decidió constituir un «Comité Mixto sobre Control Estadístico de Calidad del Hormigón», del que fue elegido presidente, por unanimidad, el señor **Rüsch**. Los diferentes Organismos nombraron sus representantes en dicho Comité de la siguiente manera:

CEB

N. Esquillan, Francia.
R. E. Philleo, Estados Unidos.
G. Wästlund, Suecia.

FIP

A. Desov, Unión Soviética.
M. Dreux, Francia.
F. G. Riessauw, Bélgica.

CIB

H. Hansen, Noruega.
I. Soroka, Israel.
D. C. Teychenné, Gran Bretaña.

RILEM

R. L'Hermite, Francia.
I. Lyse, Noruega.
H. Rüsch, República Federal Alemana.

Los problemas objeto de estudio quedaron definidos así:

- 1.º Dispersión de la resistencia en hormigones preparados y en hormigones confeccionados in situ, determinada por ensayos normalizados. Influencia en la misma de los siguientes parámetros:
 - cuantía y duración de la producción de hormigón;
 - control de producción, mano de obra e instalaciones;
 - procedimientos de muestreo, curado y ensayo;
 - variabilidad de la composición del hormigón en una amasada; y
 - variabilidad de la composición del hormigón entre amasadas.
- 2.º Métodos eficaces de control de producción.
- 3.º Tratamiento estadístico de los resultados de los ensayos, dando preferencia a procedimientos sencillos que puedan utilizarse a pie de obra.
- 4.º ¿Cómo debe definirse la resistencia del hormigón? ¿Por un valor medio, por un valor mínimo o por el valor correspondiente a un cierto porcentaje de defectuosos?
- 5.º ¿Qué criterios de aceptación y rechazo deben proponerse, basados en los ensayos de control que se efectúan en obra o en la planta de hormigón preparado? Preparación de métodos sencillos aplicables en casos generales.

6.º Correlación existente entre la resistencia intrínseca del hormigón (medida sobre probetas enmoldadas tomadas de las amasadas) y la resistencia del hormigón colocado (por ejemplo, probetas-testigo). Cómo depende esta correlación de:

- la composición de la mezcla;
- la forma y dimensiones de la estructura, así como de la cuantía de armadura;
- los métodos de compactación; y
- las condiciones de curado.

7.º Influencia de la edad del hormigón in situ bajo diferentes condiciones climáticas.

Ante la magnitud del trabajo, el presidente electo sugirió la formación de tres Grupos de Trabajo, que abarcasen los problemas indicados del modo siguiente:

Grupo de Trabajo I

Variabilidad de la producción de hormigón (puntos 1.º y 2.º del programa).
Presidente: **D. C. Teychenné**.

Grupo de Trabajo II

Estadística y Normas (puntos 3.º, 4.º y 5.º del programa).
Presidente: **H. Rüsçh**.

Grupo de Trabajo III

Resistencia del hormigón en la estructura (puntos 6.º y 7.º del programa).
Presidente: **G. Wästlund**.

Se invitó a los presidentes de los tres Grupos de Trabajo a que buscasen la ayuda de expertos para realizar el trabajo y presentar informes al Comité Mixto, el cual adquirió el carácter de grupo coordinador que representaría los intereses de las organizaciones consecutivas: CEB, CIB, FIP y RILEM.

La composición completa de los Grupos de Trabajo requirió cierto tiempo y sufrió diversas modificaciones en los años siguientes. Por ello, al final de este esbozo histórico se incluye tan sólo una relación globalizada de todos los miembros.

La primera reunión se celebró en Londres en mayo de 1968, continuándose después los contactos mediante reuniones anuales que tuvieron lugar en Amsterdam, Praga y Copenhague. En esta última sesión se presentó el informe final del Grupo de Trabajo III, basado principalmente en los estudios de Petersons, del Instituto del Cemento y Hormigón de Estocolmo. En cuanto a los trabajos de los Grupos I y II, se puso de manifiesto en Copenhague que estaban íntimamente relacionados, por lo que fue necesario establecer una lista de puntos básicos sobre los cuales era imprescindible una cooperación entre ambos grupos. En consecuencia, se decidió confiar esta tarea a un pequeño Grupo Editorial compuesto por los señores **Hardman**, **Meseguer**, **Rackwitz** y **Wiebenga**, a quienes se unieron posteriormente los señores **Calavera** y **Teychenné**, recayendo la presidencia en el señor **Meseguer**. La tarea de este Grupo Editorial era la de resolver el punto muerto a que habían llegado los Grupos de Trabajo I y II y preparar un informe completo que contuviese unas recomendaciones relativas a la totalidad del tema planteado

por el Comité Mixto. Esta propuesta sería discutida en la sesión plenaria siguiente.

Los miembros del Grupo Editorial se reunieron cinco veces en el transcurso de los siguientes tres años, y entre reunión y reunión llevaron a cabo un apreciable trabajo de soporte y preparación de las mismas. Finalmente, en marzo de 1974 terminaron la propuesta de Recomendaciones y la enviaron a todos los miembros del Comité Mixto, quienes se reunieron en Munich en mayo del mismo año. El presidente recibió cartas de aprobación por parte de miembros que no pudieron asistir y tuvo el placer de felicitar y agradecer a los miembros del Grupo Editorial por el excelente texto que habían preparado para la discusión final.

En esta última reunión se revisó y criticó todo el documento, resultando que, en cuanto a puntos básicos se refiere, tan sólo unos pocos requirieron retoques y modificaciones. Al final de la sesión todos los asistentes acordaron por unanimidad que la versión final de los Principios Recomendados para el Control Estadístico de la Calidad del Hormigón se confiase al Grupo Editorial, esperando que tendrían en cuenta de forma correcta todas las observaciones que se habían formulado. De ellas, merecen destacarse las siguientes:

- Algunos miembros del Comité Mixto opinaban que el Documento era **demasiado** general en ciertos puntos, lo que dejaba mucho campo abierto para interpretaciones y no se correspondía bien con unas Recomendaciones. Sucede esto en aquellos extremos en los que no fue posible alcanzar un acuerdo por estar las opiniones divididas, debido a las distintas tradiciones nacionales y a los diversos niveles de industrialización entre países. Tras una amplia discusión se llegó al acuerdo de aceptar tal grado de generalidad, mejor que esperar más tiempo hasta que pudiesen formularse Recomendaciones; y para evitar interpretaciones erróneas se decidió cambiar el título del documento, pasando de «Recomendaciones» a «Principios recomendados».
- Otro punto consistió en decidir si el documento debería referirse tan sólo a los problemas enumerados originalmente del 1 al 7, o si debía cubrir también la secuencia de acciones correspondientes a una decisión de rechazo. Una gran mayoría apoyó la segunda alternativa, por estar convencidos de que las decisiones de aceptación o rechazo deben ligarse íntimamente con las consecuencias que producen.
- Los miembros del Comité Mixto saben bien que esta versión final del documento no responde a todas las cuestiones que puedan surgir en el terreno del control estadístico de la calidad del hormigón, siendo tan sólo un adecuado primer paso en tal dirección. Para llegar a una propuesta más específica, los utilizadores de este documento deben estudiar cuidadosamente los Principios Recomendados, así como las consecuencias de su aplicación. Una vez que lo hayan aceptado, será mucho más fácil vencer los obstáculos originados por las tradiciones y costumbres nacionales y poder llegar así a unas Recomendaciones normalizadas. Por ello, el Comité Mixto sugiere la creación de una Comisión que esté constituida principalmente por productores y consumidores de hormigón, la cual debería revisar críticamente los resultados obtenidos y estudiar qué pasos son los más apropiados para transformar este documento en unas verdaderas Recomendaciones Internacionales.

Como presidente del Comité Mixto es un placer para mí expresar mi más sincero agradecimiento a todos sus miembros y, especialmente, a los miembros del Grupo Editorial, quienes han sacrificado gran parte de su tiempo libre para poder contribuir a este documento. Agradezco también al Instituto Eduardo Torroja de Madrid la ayuda prestada al hacerse cargo de la edición

y distribución, tanto del primer borrador como del documento final. Y también quisiera expresar mi gratitud a las Organizaciones Internacionales que han apoyado al Comité Mixto, por la confianza y la paciencia que han demostrado hacia nuestros esfuerzos comunes.

H. Rüschi

Munich, octubre 1974

miembros

J. M. Antón Corrales, España.	P. C. Kreijger, Holanda.
C. J. Bernhardt, Holanda.	B. Lewicki, Polonia.
H. Blaut, República Federal Alemana.	J. D. McIntosh, Gran Bretaña.
J. Bresson, Francia.	A. G. Meseguer, España.
R. D. Browne, Gran Bretaña.	K. V. Mikhailov, URSS.
J. Calavera, España.	C. Parey, Francia.
A. S. Coutinho, Portugal.	N. Petersens, Suecia.
A. Desov, URSS.	R. E. Philleo, USA.
M. Dreux, Francia.	R. Rackwitz, República Federal Alemana.
J. Facaoaru, Rumania.	F. Rosivall, Hungría*.
J. Ferry Borges, Portugal.	H. Rüschi, República Federal Alemana*.
S. György, Hungría.	I. Soroka, Israel.
R. Hardman, Gran Bretaña.	H. Spohr, Dinamarca.
J. Hode Keyser, Canadá.	D. C. Teychenné, Gran Bretaña.
Y. Kameda, Japón.	P. Vironnaud, Francia.
R. H. H. Kirkham, Gran Bretaña*.	J. G. Wiebenga, Holanda.
	B. Zvezely, Yugoslavia.

* Fallecido

* * *

prólogo a la versión española

La lectura de la NOTA HISTORICA del profesor Rüschi, Presidente del Comité Mixto CEB-CIB-FIP-RILEM sobre Control Estadístico de Calidad del Hormigón, da una idea de la complejidad del tema abordado y de las muchas dificultades que se encontraron en su estudio. A todas las reuniones que él cita puedo yo añadir una última del Comité Editorial, que se celebró en Madrid en octubre de 1974 para rematar la tarea y tratar de conseguir que las correcciones introducidas en el borrador anterior se ajustasen a lo acordado en la sesión general de Munich.

Aunque el grado de generalidad del presente documento podrá dejar insatisfechos a quienes esperaban encontrar en él unas recomendaciones específicas, creo que en el estado actual de discrepancias entre países no se podía llegar más lejos; y que el documento merece la máxima difusión posible, con objeto de preparar un futuro acercamiento mayor en tema tan polémico y de repercusiones tan directas en la práctica como es el control de calidad.

Los lectores de la versión española encontrarán quizás alguna inconsistencia terminológica. Así por ejemplo, al hablar de las dos personas entre las que se establece el contrato de aceptación del hormigón, no siempre he utilizado los mismos términos, sino diversos que, a estos efectos, son sinónimos; productor, fabricante, suministrador, etc., por una parte, y consumidor, utilizador, etc., por otra. En definitiva, se trata de la relación constructor-director de obra, sin entrar en quién fabrica materialmente el hormigón.

Quienes estén familiarizados con la Instrucción Española del Hormigón, EH 73, podrán comprobar que, en líneas generales, su tratamiento del control se ajusta bastante bien a los principios recomendados en este documento. Hay alguna discrepancia sobre la que sería muy largo discutir.

Quisiera hacer constar, por último, mi reconocimiento a todos los técnicos españoles que, de forma directa o indirecta, me han ayudado en la tarea que se me encomendó como presidente del Comité Editorial. A los nombres de Antón Corrales y Calavera, ya citados en la versión original de este documento, hay que añadir los de Alfredo Verde, Valentín Martín Jadraque y Julio Villacañas, así como los de las restantes personas que, en el seno de la Comisión Permanente del Hormigón y sus Grupos de Trabajo, se ocupan del actualísimo tema del control de calidad.

Alvaro García Meseguer

Madrid, enero 1975



GENERALIDADES

1. INTRODUCCION

1.1. Generalidades

Es una realidad confirmada por la experiencia que las propiedades mecánicas de los materiales estructurales, las dimensiones geométricas de las estructuras y las acciones que las estructuras deben soportar, están todas ellas sometidas a variaciones aleatorias. Como consecuencia de ello, se acepta universalmente que el proyecto de estructuras ha de basarse en métodos probabilistas, con preferencia a los métodos deterministas tradicionales.

En principio, si el proyectista fuese capaz de modelar con precisión la distribución de probabilidades de las acciones sobre una estructura y la distribución de probabilidades de la capacidad resistente de dicha estructura, podría determinar la probabilidad de fallo correspondiente.

El tener presente, de forma equilibrada, las consecuencias técnicas, económicas y sociales de un posible fallo, por una parte, y el costo de reducción del riesgo de fallo, por otra, permite establecer un nivel óptimo aceptable para el riesgo de fallo de una estructura o parte de la misma. En los métodos de cálculo que se basan en esta idea, los materiales estructurales deben especificarse en términos de los parámetros que definen las distribuciones de probabilidad de sus resistencias.

Los principios anteriores son válidos cualquiera que sea el tipo de fallo en consideración, esto es, un colapso estructural completo o cualquier otro estado límite. Los conocimientos actuales sobre los modelos probabilísticos necesarios son insuficientes para la completa aplicación de tales principios; pero su tratamiento práctico figura en las modernas Instrucciones, en las que las ideas de distribuciones de probabilidad y nivel óptimo aceptable de riesgo aparecen representadas por valores característicos y coeficientes de seguridad parciales.

El proyecto no puede asegurar, por sí sólo, que en la realización de la estructura se emplearán realmente los materiales y métodos requeridos. Tras la fase de proyecto viene la fase de producción, la cual está sujeta a variaciones aleatorias de manera tal que no es posible predecir con certeza cuál será su resultado final. A mayor abundamiento, la información sobre la cual juzgamos los resultados en la fase de producción es, en sí misma, el resultado de unos procesos variables de muestreo y ensayo para el control de calidad y la toma de decisiones de aceptación o rechazo.

Ante toda esta incertidumbre que rodea a la información sobre la cual se basan las diversas decisiones que hay que ir tomando en el proceso de convertir un proyecto en una construcción, es absolutamente necesario establecer unas reglas para la interpretación de la información variable. Dichas reglas deben tener en cuenta debidamente el riesgo implicado en cada toma de decisión, con objeto de que la evaluación inicialmente hecha por el proyectista del riesgo global no se vea comprometida en la realización final del proyecto. Y hay que subrayar que el control de calidad puede influir sobre la seguridad estructural de manera más significativa que los refinamientos para mejorar la precisión de los cálculos del proyecto.

1.2. Objeto de este documento

Este documento se refiere básicamente al control de calidad del hormigón y a los criterios para su aceptación o rechazo, pero no pretende cubrir todos los aspectos relacionados con la calidad, en particular la durabilidad.

La durabilidad del hormigón depende del proyecto, de las características de los materiales (en particular, cemento) y de la ejecución, y ha de ser comprobada mediante ensayos adecuados de los componentes del hormigón y una correcta supervisión del proyecto y la ejecución; pero todos estos importantes aspectos caen fuera del campo particular objeto de este documento.

Aun cuando no hay que identificar la calidad del hormigón con su resistencia, la resistencia a la compresión es un parámetro principal que se utiliza normalmente para juzgar la calidad del hormigón. Por ello, este documento se refiere muy a menudo a la resistencia a compresión; pero debe destacarse que las ideas y criterios generales aquí establecidos son igualmente válidos para otros parámetros, representativos de otras propiedades del hormigón, tales como la resistencia a tracción, la relación agua/cemento, etcétera.

1.3. Criterios de aceptación y rechazo

La resistencia de un hormigón dado no tiene un valor único, sino que ha de ser descrita como una población de infinito número de valores. La experiencia demuestra que, cuando el hormigón se fabrica bajo condiciones constantes, la distribución de esta población puede considerarse como normal (gausiana) y describirse completamente con dos parámetros, a saber la media y la desviación típica. Las Instrucciones modernas simplifican la descripción de la distribución de resistencias reduciendo los dos parámetros de la distribución

a uno solo, llamado valor característico de la resistencia. Esta resistencia característica se representa por f_c y se define, tanto para los cálculos de proyecto como a efectos de fabricación de hormigón, como aquel valor de la resistencia por debajo del cual es esperable que caiga tan sólo un pequeño porcentaje de valores de la distribución.

La resistencia que el proyectista especifica para el hormigón de la estructura viene determinada por un proceso de optimación que tiene en cuenta las consecuencias técnicas, económicas y sociales asociadas al riesgo de un fallo estructural. Ahora bien, la estructura se construirá muy raras veces con exactamente la misma resistencia especificada para el hormigón. La resistencia del hormigón realmente utilizada dependerá de las variaciones aleatorias de la calidad producida y ofrecida, así como de las variaciones aleatorias de la calidad que resulta aceptada cuando es ofrecida.

La probabilidad de fallo de la estructura puede, por tanto, interpretarse como una combinación de tres factores independientes:

- a) la probabilidad de que la calidad real del hormigón sea incapaz de soportar una sollicitación perteneciente a la distribución de sollicitaciones considerada por el proyectista;
- b) la frecuencia relativa con que la calidad real del hormigón es producida y presentada para aceptación; y
- c) la probabilidad de que la calidad real del hormigón sea aceptada cuando es ofrecida.

El requisito probabilista de seguridad se verá satisfecho si el producto de estas tres probabilidades, extendidas a todas las calidades posibles de hormigón, resulta inferior a la probabilidad de fallo que está implícita en los cálculos del proyectista. Esta probabilidad representa el criterio del proyectista en cuanto al riesgo aceptable de fallo estructural por parte de la comunidad. En las actuales Normas no existe una declaración explícita sobre los valores apropiados de esta probabilidad, pero tales valores están implícitamente establecidos, a través de los valores recomendados para los coeficientes parciales de seguridad y a través del concepto probabilista de valor característico.

Para una situación particular de proyecto, la probabilidad a) depende solamente de la distribución de sollicitaciones y de la distribución de resistencias, siendo ésta última una función aleatoria de la resistencia del hormigón real.

La probabilidad b) depende del fabricante de hormigón y, en particular, de la valoración que él haga del equilibrio económico entre el coste del control de producción para alcanzar una calidad elevada, por una parte, y los beneficios y costes asociados a la aceptación o rechazo de su hormigón, por otra.

La probabilidad c) depende únicamente del criterio de aceptación que se adopte para juzgar la calidad del hormigón.

En cualquier momento dado de tiempo estas tres probabilidades son mutuamente independientes, pero en cambio en cualquiera de ellas ejercerá influencias económicas que, a su vez, ocasionarán cambios en las otras.

Todo lo dicho muestra que cada una de las fases de proyecto, fabricación del hormigón y ejecución de la estructura, presenta una interacción sobre las otras. Resulta evidente, además, la conexión existente entre los valores de los coeficientes de seguridad parciales utilizados por el proyectista y el criterio que se adopte para juzgar la calidad del hormigón.

1.4. Responsabilidades relativas al proyecto, al control de producción y a la aceptación o rechazo

Proyecto, producción y aceptación son claramente tres funciones separadas. En muchos casos, la responsabilidad de tales funciones corresponde a muy diferentes autoridades, entre las que pueden presentarse conflictos de intereses aun cuando todas ellas tengan el objetivo común de realizar una estructura segura y económica. Dadas las diferentes prácticas administrativas usuales en los distintos países en lo que respecta a responsabilidades, existe un claro riesgo de confusión cuando se habla de estos temas a nivel internacional.

En algunos sistemas administrativos, las tres funciones de proyecto, producción y aceptación son la responsabilidad de una sola autoridad, el «ingeniero». En otros sistemas, el «ingeniero» es responsable del proyecto y de la aceptación, y el «contratista» lo es del control de producción. En otros sistemas, en fin, cada una de las tres funciones constituyen la responsabilidad de una autoridad independiente, y las tres pueden ser llamadas «ingeniero» en sus campos separados de competencia.

Al comparar normativas o Instrucciones diferentes que se refieren a las responsabilidades del «ingeniero», hay que ser muy cuidadosos en distinguir las funciones del proyecto, control de producción y aceptación, que continúan siendo diferentes cualquiera que sea la práctica administrativa y la nomenclatura que se utilicen. Y a la hora de establecer reglas prácticas para cada una de estas funciones, con objeto de ordenar los diferentes intereses y responsabilidades, es importante no perder de vista la interacción entre estas actividades dentro del objetivo común que todos tratan de alcanzar.

1.5. Selección de reglas para el control de producción y para la aceptación o rechazo

La finalidad de conseguir una estructura con niveles adecuados de seguridad, funcionalidad y durabilidad pueden alcanzarse a través de muy diferentes combinaciones de reglas relativas al proyecto, al control de producción y a la aceptación o rechazo.

Por ejemplo, cabe combinar unas normas muy rígidas para el control de producción con un criterio de aceptación relativamente tolerante y pequeñas consecuencias en caso de rechazo. En el otro extremo, pueden establecerse unas pocas normas de control de producción, dejando al fabricante de hormigón en mayor libertad, pero imponiendo un criterio de aceptación severo y grandes consecuencias en caso de rechazo. Dentro del amplio espectro de combinaciones posibles entre normas de control de producción y criterios de aceptación o rechazo, habrá un juego óptimo de reglas que será el más económico para operar en unas condiciones particulares, según cuáles sean la práctica administrativa reguladora de responsabilidades, el grado de perfeccionamiento de los procesos de producción, la importancia de la estructura y la viabilidad de un control estricto.

Dentro de un mismo país, existe un amplio abanico de estructuras en cuanto a su importancia, así como de calidad y precisión de proyectos y procesos de ejecución. Entre países existen grandes diferencias de práctica administrativa, de responsabilidad e, incluso, de viabilidad de ejercer controles estrictos.

Ante esta situación y, dadas unas reglas uniformes para el proyecto, parece conveniente tomar en consideración diferentes procedimientos de control de hormigón y criterios de aceptación, sobre la base, a la vez, del grado de perfeccionamiento del proceso de fabricación y de la importancia de la estructura, de manera tal que, para cada tipo de obra, se pueda adoptar la combinación de normas más económica.

Pero todavía hace falta mucha investigación para poder desarrollar un sistema de principios recomendados que se base totalmente en la filosofía descrita. Y sin embargo, existe una necesidad inmediata de establecer algunas recomendaciones, para orientación de los distintos países, que sean lo más consistentes posible con dicha filosofía y que, a la vez, se basen al máximo en la práctica ordinaria.

Este documento es un intento de establecer tales recomendaciones, en la medida en que es posible hoy día.

2. PRESCRIPCIONES DE PROYECTO

2.1. Generalidades

Desde hace algún tiempo se viene trabajando en el establecimiento de un conjunto de reglas uniformes de proyecto, y las recomendaciones siguientes intentan proporcionar un marco en el que tenga lugar un desarrollo futuro a lo largo de las líneas comunes que vaya marcando la investigación, hasta llegar a un sistema de normas completo y coherente.

Se recomienda la adopción de una definición más precisa de resistencia característica, como base común para establecer normas de proyecto, de producción de hormigón y de aceptación o rechazo.

El resultado final de la fase de proyecto debe ser una especificación clara y explícita del conjunto de exigencias que el proyectista impone a los materiales, métodos y características. Las recomendaciones que se incluyen a continuación van encaminadas a fomentar el que la descripción de las exigencias del proyectista se efectúe de una manera más completa, precisa e inequívoca, con objeto de que no existan dudas, en la fase de producción y aceptación del hormigón, acerca de las formas admitidas de conseguir el cumplimiento de los requisitos del proyecto.

* * *

COMENTARIOS

C.2.2.

Es muy deseable adoptar una definición única de **resistencia característica** que pueda constituir una base fundamental común para cada una de las fases de proyecto, control de producción y aceptación. Ello se efectúa basando la definición en el concepto de distribución de todas las posibles mediciones de resistencia de un hormigón dado.

La definición dada se refiere a la resistencia característica exigida, es decir, a la especificada por el proyectista. Cuando se asocia al concepto de proporción de defectuosos, p (es decir, proporción de valores de resistencias inferiores a la resistencia especificada), la definición, por sí sola, es suficiente para describir cualquier calidad del hormigón con respecto a la calidad especificada. Se ha convenido en que, en la práctica, la fijación del cuantil 5 por 100 proporciona una suficiente uniformidad de niveles de seguridad, habida cuenta del rango habitual de variabilidades y de su frecuencia de acaecimiento en la familia de poblaciones representativa de un hormigón dado.

En particular, para una distribución normal de valores de resistencia con una desviación típica σ , el margen existente entre la resistencia característica y la media de la población es de $1,64 \sigma$.

C.2.3.1.

Puesto que la resistencia a compresión varía con la edad y condiciones de curado, así como con la forma y tamaño de la probeta de ensayo, es necesario especificar la edad y condiciones del ensayo, que pueden ser diversas para diferentes tipos de cemento o para tipos particulares de estructuras. Si hay que ensayar hormigón de cemento portland a edades diferentes de los 28 días, o en régimen de curado acelerado, es necesario establecer la relación particular existente entre la resistencia a 28 días y la resistencia a la otra edad exigida. Para otros tipos de cemento puede ser más conveniente especificar la resistencia a edades diferentes de 28 días; por ejemplo, los valores dados en la Tabla 1 podrían ser aplicables a hormigones de cemento aluminoso ensayados a 24 horas de edad.

C.2.3.2.

En climas moderados, las probetas enmoldadas de hormigón se conservan generalmente en agua a una temperatura media de 20°C , que debe mantenerse dentro de unos límites previamente especificados. Si las probetas se conservan a una temperatura media diferente, las resistencias dadas en la Tabla 1 deben multiplicarse por un coeficiente adecuado.

Además del tipo de hormigón, pueden especificarse otras características, tales como el tipo de cemento, el tamaño máximo del árido, el contenido mínimo en cemento, la máxima relación agua/cemento, el contenido en aire ocluido y la consistencia. En casos especiales pueden añadirse otras exigencias, pero llevando cuidado para evitar requisitos contradictorios. Podrían también establecerse tablas para especificar los parámetros necesarios de la mezcla (por ejemplo, contenido mínimo en cemento, relación agua/cemento, contenido en aire, etc.) en relación con las diferentes categorías de agresividad ambiente.

Conviene reducir al máximo el número de tipos diferentes de hormigón, con objeto de facilitar la recogida de experiencia sobre elaboración del hormigón y/o la preparación de ábacos, tablas y otras herramientas de cálculo. La serie tipificada responde a esa finalidad, incluyendo valores adecuados para diferentes tipos de obras, a partir de unas calidades mínimas de hormigón. El tipo B20 referido a probeta cúbica puede considerarse como mínimo para obras de hormigón armado y el B30 para las de hormigón pretensado. Como en los tipos inferiores son necesarios escalones más pequeños, la serie varía de 5 en 5 N/mm^2 entre los tipos B10 y B40, y de 10 en 10 N/mm^2 entre los tipos B40 y B60.

PRINCIPIOS

2.2. Resistencia característica del hormigón

La resistencia característica, como parámetro que identifica el tipo de hormigón requerido, se define como aquel valor de la resistencia por debajo del cual es esperable que caiga un 5 por 100 de la población de todas las posibles mediciones de resistencia del hormigón especificado.

2.3. Tipificación de resistencias de hormigón

2.3.1.

El tipo de hormigón debe especificarse a través de su resistencia característica a compresión, expresada en N/mm^2 y medida generalmente a la edad de 28 días, bajo condiciones normalizadas de curado y forma de ensayo.

2.3.2.

El tipo de hormigón deberá seleccionarse de entre los valores dados en la Tabla 1. Cuando se refiera a la resistencia medida en probetas conservadas en agua a $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura, el hormigón se designará con una B, seguida por el número representativo de la resistencia característica deseada, aclarando si las probetas son cilíndricas (150 mm de diámetro y 300 mm de altura) o cúbicas (150 mm de arista).

TABLA 1

Tipos de hormigón

Tipos de hormigón (Resistencia característica a compresión, en N/mm^2)									
10	15	20	25	30	35	40	50	60	

C.2.3.3.

La recomendación ISO R1920 permite toda una serie de probetas diferentes, pero da preferencia a la cilíndrica 15 x 30 cm y a la cúbica de 15 cm de lado. El factor de conversión normalmente empleado es 0,8 (la probeta cilíndrica da un 80 por 100 de la resistencia de la probeta cúbica).

No obstante, es sabido que este factor puede cambiar según las circunstancias, por ejemplo en función de la resistencia del hormigón.

2.3.3.

La resistencia a compresión debe medirse en probetas que cumplan la Recomendación R 1920 de la ISO, dando preferencia a las cilíndricas de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura y a las cúbicas de 150 mm de arista.

Si la resistencia a compresión se mide en probetas de tamaño diferente de las recomendadas, las resistencias especificadas deben ser las resultantes de multiplicar los valores dados en la Tabla 1 por un coeficiente de corrección, correspondiente al tamaño y forma de la probeta utilizada, que habrá de determinarse mediante ensayos, con objeto de obtener una calidad de hormigón equivalente a la definida en la Tabla 1.

2.3.4.

En circunstancias especiales, el tipo de hormigón puede especificarse mediante su resistencia a otras edades, o mediante otro tipo de resistencias (por ejemplo, a tracción), en cuyo caso la resistencia característica necesaria debe especificarse haciendo referencia al tipo de probeta y de ensayo, que deben estar de acuerdo con la Recomendación ISO R 1920. Habrá que especificar también la edad del hormigón en el momento del ensayo y deberá reducirse al mínimo posible el número de resistencias características diferentes que se especifican.

C.2.4.1.

Con el fin de adaptarse a la gran variedad de situaciones posibles, el hormigón puede venir definido de diferentes formas, lo que lleva consigo diferentes tipos de ensayos para juzgar acerca de su aceptación o rechazo.

Así por ejemplo, una vez decidida la resistencia que se desea para el hormigón, es posible que, por tratarse de una obra de poca importancia, convenga especificar una Dosificación Normalizada, sin roturas de probetas para control, sino, simplemente, empleando los procedimientos habituales para controlar una dosificación.

2.4. Formas de especificar el hormigón**2.4.1.**

Hay tres formas de especificar un hormigón para estructuras, que difieren en cuanto a la variable base de especificación, a la responsabilidad de establecimiento de la dosificación y al parámetro empleado para aceptar o rechazar al hormigón. Estas tres formas se indican en la Tabla 2.

La primera es una especificación relativa al resultado. Se impone una resistencia a compresión junto con otros requisitos, tales como el tamaño máximo del árido, el contenido mínimo en cemento, el contenido en aire ocluido, etc. Las proporciones de la mezcla se fijan libremente por el fabricante de hormigón. A este caso se le llama de «Dosificación Proyectada».

TABLA 2*Formas de especificar el hormigón*

	Tipo de Dosificación	Dosificación Proyectada	Dosificación Normalizada	Dosificación Impuesta
Fase de proyecto	Base de especificación	Resistencia	Proporciones de la mezcla	Proporciones de la mezcla
	Tipos admisibles	Todos	B 10-B 25	Todos
Fase de fabricación del hormigón	Responsabilidad del establecimiento de la dosificación	Fabricante del hormigón	Norma o Instrucción Nacional	Utilizador del hormigón
	Materiales admisibles	Cualquiera que cumpla las Normas Nacionales	Un conjunto restringido de materiales que cumplen las Normas Nacionales	Cualquiera
	Ensayos de rotura con fin informativo	(los ensayos de rotura constituyen la base de especificación)	No son normalmente necesarios	Convenientes, en particular para altas resistencias
Fase de aceptación	Parámetro empleado para aceptar o rechazar	Resistencia	Proporciones de la mezcla	Proporciones de la mezcla

En otros casos puede resultar preferible que el utilizador prescriba su propia dosificación al fabricante del hormigón, por ejemplo cuando tenga gran experiencia sobre los materiales de la zona o cuando desee emplear una dosificación específica para conseguir alguna característica determinada. Naturalmente, si se han especificado ciertos parámetros, el criterio de aceptación o rechazo habrá de referirse a los ensayos que determinan tales parámetros.

C.2.4.2.

Los requisitos generales de calidad son exigibles a todos los tipos de hormigón. Tan importante es hacer un buen hormigón de Dosificación Normalizada o de Dosificación Impuesta como lo es en el caso de Dosificación Proyectada. En algunos casos, podrá ser apropiado marcar diferentes niveles de ensayos de control, con distinto número de ensayo, para el caso de Dosificación Proyectada. De ello se trata en el Capítulo 4 (INFORMES n.º 330).

C.2.5.1.

Los datos que provienen de experiencias anteriores son más fiables que los obtenidos de amasadas de prueba realizadas en laboratorio o en obra, puesto que cubren un mayor espacio de tiempo e incluyen más variables, en especial las relativas a la producción real.

Respecto a los ensayos de control de resistencia, frecuencia de muestreo, etc. véase el Capítulo 4.

C.2.5.2.

La variabilidad de los valores de resistencia expresada en forma de desviación típica es el resultado de la variabilidad del cemento (dentro de una misma partida y entre partidas diferentes), de la variabilidad de composición de amasadas (principalmente en la relación agua/cemento), de la heterogeneidad dentro de una misma amasada y de variaciones durante los procesos de muestreo, curado y ensayo de las probetas.

Ha habido muchos intentos para establecer una correlación entre la variabilidad de resistencia del hormigón y la forma o método de fabricación del hormigón, o el tipo de obra, sobre el supuesto de que podría garantizarse un nivel de variabilidad prefijado a base de imponer determinados métodos de fabricación y determinados procedimientos de ensayo de los materiales y del hormigón. Pero las más recientes investigaciones muestran que no hay evidencia de que existan diferencias sistemáticas del valor de la desviación típica atribuibles a diferentes métodos de fabricación [por ejemplo, hormigón preparado y hormigón fabricado in situ (1)].

(1) D. C. Teychené. «Recomendaciones para el tratamiento en las Normas e Instrucciones de las variaciones de resistencia del hormigón». Materiales y Estructuras, RILEM, Vol. 6, n.º 34, julio-agosto, 1973.

La segunda presupone el establecimiento de unas dosificaciones tipo en una Norma o Instrucción Nacional, válidas para un conjunto restringido de tipos de hormigón y de aplicaciones. Se denomina de «Dosificación Normalizada».

La tercera es aplicable a situaciones especiales, en las que el utilizador del hormigón desea un determinado tipo de dosificación, tomando sobre sí el proyecto de la mezcla y prescribiendo al fabricante de hormigón las proporciones y materiales que debe emplear. Este caso se denomina de «Dosificación Impuesta».

2.4.2

El hormigón se especificará por el procedimiento de Dosificación Proyectada, Dosificación Normalizada o Dosificación Impuesta, según resulte más apropiado al caso particular de que se trate, habida cuenta de lo indicado en la Tabla 2. En general es preferible el procedimiento de Dosificación Proyectada, reservando el de Dosificación Normalizada para obras de poca importancia con hormigones de baja resistencia, en las que no esté justificada la realización de un plan de ensayos de resistencia.

Las Normas e Instrucciones sobre Hormigón Estructural deben indicar los procedimientos y ensayos apropiados para asegurar que la calidad del hormigón se ajusta a las exigencias de proyecto. El Contratista es responsable de los procedimientos de control de producción que considere necesarios para fabricar un hormigón de calidad no inferior a la especificada.

2.5. Hormigón de Dosificación Proyectada

2.5.1.

Cuando se emplean hormigones de Dosificación Proyectada, se especifica su resistencia y cualquier otro requisito. El proyecto de la mezcla queda a la responsabilidad del Contratista, y el criterio de aceptación o rechazo se basa en ensayos de rotura de probetas cuya frecuencia se ha establecido de antemano. Además se comprueba, por observación directa o con ensayos, el cumplimiento de las restantes características especificadas, tales como la consistencia, el contenido mínimo en cemento, la máxima relación agua/cemento, el contenido en aire oculto, etc.

Las proporciones de la mezcla deben basarse preferentemente en experiencias anteriores en las que se hayan empleado los mismos materiales y proceso de fabricación, o en resultados obtenidos de amasadas de prueba. La dosificación propuesta debe someterse a aprobación.

2.5.2.

El proyecto de la mezcla debe efectuarse teniendo en cuenta que debe existir un margen adecuado entre la resistencia característica especificada y la resistencia media proyectada, en base a una desviación típica estimada por conocimientos previos.

Tal y como se ha definido la resistencia característica en el apartado 2.2, al nivel de un 5 por 100 de defectuosos, ese margen debe ser al menos igual a 1,64 veces la desviación típica esperada.

Con el fin de fijar el margen a efectos del proyecto de la mezcla, y para establecer criterios de aceptación o rechazo en las Normas e Instrucciones, el valor de la desviación típica del hormigón, en los casos normales, se deducirá de la figura 1.

- a) Si no existen datos previos, o existen menos de 30 resultados obtenidos de las mismas instalaciones, procesos, materiales y condiciones de vigilancia, la desviación típica mínima se tomará de la curva A. Por consiguiente, para resistencias características iguales o mayores de 20 N/mm² la desviación típica mínima vale 8 N/mm². No obstante, el valor de 8 N/mm² puede variar entre 6 N/mm² y 10

Las variaciones futuras pueden estimarse, de forma conservadora, en base a datos previos, teniendo en cuenta la información existente sobre orden de magnitud de las variabilidades, la incertidumbre estadística en la estimación e incluso el juicio subjetivo sobre las circunstancias particulares de la fabricación.

C.2.6.1.

Las proporciones de la mezcla, en el caso de Dosificación Normalizada, deben basarse en las características del cemento y áridos existentes en cada país. La adecuación de la estructura queda asegurada normalmente, porque el contenido en cemento de estas Dosificaciones Normalizadas es siempre mayor que el correspondiente a una Dosificación Proyectada. Ello se debe a dos factores, que deben ser tenidos en cuenta al establecer las Dosificaciones Normalizadas: primero, hay que emplear un amplio margen, basado en una desviación típica alta, como se indicó en 2.6.2; y segundo, las proporciones de la mezcla deben fijarse pensando en combinaciones desfavorables de materiales de baja calidad.

C.2.6.2.

Un ejemplo de restricciones impuestas a los materiales puede ser el de limitar los tipos de cemento y no admitir el empleo de áridos ligeros.

C.2.7.1. y C.2.7.2.

Las Dosificaciones Impuestas se emplean cuando el utilizador quiere especificar totalmente las proporciones de la mezcla que deben utilizarse. Existe toda una serie de circunstancias en las que este caso puede presentarse, por ejemplo, cuando el utilizador sabe que, con los materiales de la zona, una cierta dosificación produce un hormigón que posee las características deseadas; o cuando quiere que se emplee una mezcla determinada para obtener un hormigón de características especiales (de alta o baja densidad; con ciertas cualidades térmicas; etcétera).

No obstante, al especificar una Dosificación Impuesta, el utilizador debe tener en cuenta las exigencias de durabilidad. Puesto que él toma sobre sí la responsabilidad del proyecto de la mezcla, es también responsabilidad suya asegurarse de que se cumplen los requisitos de resistencia necesarios para la seguridad estructural. Por consiguiente, conviene que realice ensayos de probetas, especialmente para los tipos más altos de hormigón, con objeto de comprobar que su Dosificación Impuesta es adecuada.

N/mm² para adaptarse a las diversas condiciones nacionales.

- b) *Si se dispone de un número de resultados entre 30 y 100, la desviación típica será la calculada a partir de ellos, pero no se tomará menor de la dada por la curva B; es decir, que para resistencias características iguales o mayores de 20 N/mm² la desviación típica mínima es 4 N/mm².*
- c) *Si se dispone de más de 100 resultados, la desviación típica será la calculada a partir de ellos, pero no menor de 2 N/mm² como indica la curva C.*

2.6. Hormigón de Dosificación Normalizada

2.6.1.

Cuando existan datos fiables relativos a las propiedades del cemento y áridos disponibles en un país, las Normas e Instrucciones nacionales pueden incluir tablas de dosificaciones recomendadas, definiendo detalladamente las cantidades de materiales necesarias para producir 1 m³ de hormigón terminado, del tipo requerido. En este caso, la responsabilidad del proyecto de la mezcla no corresponde ni al suministrador del hormigón ni al utilizador del mismo, pero sí es responsabilidad del segundo el seleccionar la dosificación adecuada que responda a los requisitos de resistencia y durabilidad. Por su parte, el suministrador es responsable de respetar la dosificación elegida.

En estos casos de Dosificación Normalizada, la base del juicio de aceptación o rechazo reside en las proporciones de la mezcla, efectuándose ensayos de consistencia y comprobaciones de dosificación ya sea por observación directa del proceso de amasado, ya sea mediante análisis del hormigón fresco. Si fuese necesario, habría que realizar ensayos de resistencia para comprobar que las proporciones especificadas de la mezcla son correctas.

2.6.2.

Las Dosificaciones Normalizadas quedan restringidas a los tipos inferiores de hormigón y también a ciertos tipos restringidos de materiales. Según sean las condiciones nacionales, el tipo más alto de hormigón utilizable puede variar entre el B 20 y el B 25.

Las proporciones de la mezcla serán tales que resulte un margen de resistencia adecuado para el hormigón, por encima del valor especificado. Este margen debe ser, por lo menos, de 1,64 veces la desviación típica máxima esperada, en función de las condiciones nacionales (véase 2.5.2 a).

2.7. Hormigón de Dosificación Impuesta

2.7.1.

En el caso de Dosificación Impuesta, el utilizador es el responsable del proyecto de la mezcla y especifica directamente las proporciones y materiales que deben utilizarse. Es responsabilidad del fabricante o suministrador del hormigón el respetar la dosificación impuesta, basándose en este caso el juicio de aceptación o rechazo en las proporciones de la mezcla y otros requisitos distintos de la resistencia, tales como la consistencia.

2.7.2.

A diferencia de las Dosificaciones Normalizadas, las Dosificaciones Impuestas pueden utilizarse con cualquier tipo de hormigón, pudiendo especificarse y emplearse cualquier tipo de materiales adecuados. Es muy deseable la realización de algunos ensayos de resistencia para la debida información del utilizador, pero no como base de juicio para aceptar o rechazar, al proyectar la mezcla el utilizador debe prever un margen adecuado de resistencia, como se indica en 2.5.2.

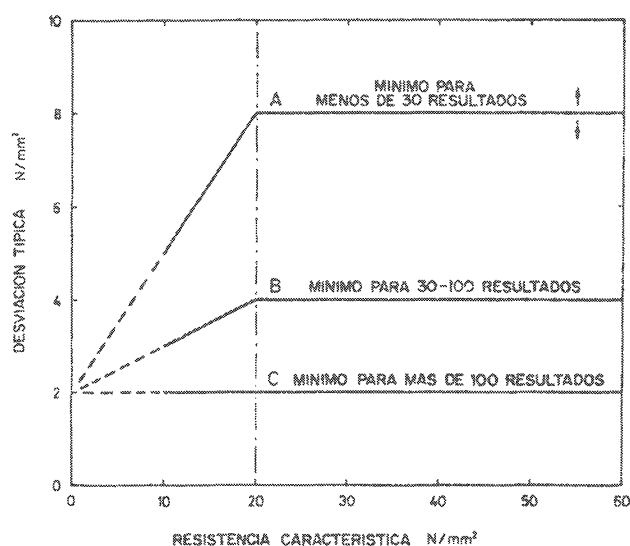


Fig. 1. — Valores mínimos propuestos para la desviación típica.

2. PRESCRIPCIONES DE PROYECTO

- 2.1. Generalidades
- 2.2. Resistencia característica del hormigón
- 2.3. Tipificación de resistencias de hormigón
- 2.4. Formas de especificar el hormigón
- 2.5. Hormigón de Dosificación Proyectada
- 2.6. Hormigón de Dosificación Normalizada
- 2.7. Hormigón de Dosificación Impuesta

3. CONTROL DE PRODUCCION

- 3.1. Generalidades
- 3.2. Prescripciones relativas a la fabricación del hormigón
- 3.3. Prescripciones relativas a la medición de variables significativas
- 3.4. Control estadístico de la resistencia
- 3.5. Curado acelerado
- 3.6. Análisis rápido

INFORMES N.º 330

4. CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO

- 4.1. Generalidades
- 4.2. La función de aceptación
- 4.3. La curva característica (curva O-C)
- 4.4. Procedimientos de muestreo y ensayo
- 4.5. Tamaño del lote y frecuencias de muestreo y ensayo
- 4.6. Resumen de principios relativos al criterio de aceptación o rechazo

5. ACCIONES DERIVADAS DE LA APLICACION DEL CRITERIO DE ACEPTACION O RECHAZO

- 5.1. Generalidades
- 5.2. Aceptación con respecto a la resistencia exigida
- 5.3. Confirmación de los ensayos sobre probetas enmoldadas por medio de probetas testigo
- 5.4. Penalización por incumplimiento de la resistencia exigida
- 5.5. Investigación de la seguridad estructural

(Continuará)

índice

INFORMES N.º 329

NOTA HISTORICA

PROLOGO A LA VERSION ESPAÑOLA

1. INTRODUCCION

- 1.1. Generalidades
- 1.2. Objeto de este documento
- 1.3. Criterios de aceptación y rechazo
- 1.4. Responsabilidades relativas al proyecto, al control de producción y a la aceptación o rechazo
- 1.5. Selección de reglas para el control de producción y para la aceptación o rechazo